

Absolutní metoda měření napětí.

Absolut Method of the Voltage Measurement

Dominik Chrástecký

Bakalářská práce

Doc. Dr. Ing. Veleslav Mach

Ostrava 2021

Zadání bakalářské práce

Student: **Dominik Chrástecký**
Studijní program: B0713A060005 Elektroenergetika
Téma: **Absolutní metoda měření napětí**
Absolute Method of the Voltage Measurement

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Laboratorní úloha Absolutní metody.
2. Konstrukce torzních vah.
3. Možné příčiny systematické chyby měření.

Seznam doporučené odborné literatury:

Sylabus TVN

MACH, Veleslav. Technika vysokého napětí. Ostrava: Skriptum 2. přepracované vydání, ES VŠB-TUO, 2006, 114 s. ISBN 80-248-1161-8

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Dr. Ing. Veleslav Mach**

Datum zadání: 01.09.2019

Datum odevzdání: 30.04.2021

prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Poděkování

Rád bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce, doc. Dr. Ing. Velešlavu Machovi, za jeho ochotu při konzultacích, připomínky, a hlavně cenných rad při vypracovávání této bakalářské práce.

Abstrakt

Tato práce se zabývá laboratorní úlohou Absolutní metody, kde se pomocí torzních vah měří síla, kterou působí napětí. Z naměřené hodnoty váhy se poté dopočítává hodnota napětí. Tato metoda měření by měla být velmi přesná, ale z důvodu neznámé chyby se tato přesnost vylučuje a úkolem této práce je přijít na příčinu nebo navrhnout čím by tato chyba mohla být způsobená.

Klíčová slova

Elektrostatická síla, chyby měření, torzní váhy

Abstract

This bachelor thesis deals with an absolute method, where we measure force exertion by means of torsion scales. The voltage value is then calculated from previously measured values. This method is supposed to be very accurate. However, there is an unknown error that rules out the accuracy aspect. The aim of this work was to identify the cause or to come up with a suggestion on what could be the cause of this error.

Key Words

Electrostatic force, measurement errors, torsion scales

Obsah

Úvod	1
1 Laboratorní úloha Absolutní metody	2
1.1 Vypracování protokolu z naměřených hodnot.....	2
1.1.1 Postup měření	2
1.1.2 Použité přístroje	2
1.1.3 Naměřené hodnoty	3
1.1.4 Výpočet chyby	5
1.2 Závěr měření	7
2 Konstrukce torzních vah	9
2.1 Úvod o torzních váhách.....	9
2.2 Konstrukce a provedení.....	10
2.3 Materiály částí, které musí být dodrženy.....	13
2.4 Princip torzních vah	13
2.5 Kontrola funkčnosti torzních vah	14
2.5.1 Vnější kontrola.....	14
2.5.2 Kontrola konstrukce vah.....	15
2.5.3 Kontrola přesnosti vážení	16
3 Hledání možné příčiny.....	17
3.1 Úvod do problematiky chyby při měření.....	17
3.2 Teorie chyby	17
3.2.1 Dělení chyb	18
3.3 Vyřazené příčiny	19
3.4 Popis části vah, kde může vznikat chyba.....	19
3.5 Možné příčiny náhodné chyby	20
Závěr.....	23

Seznam použitých symbolů a zkratek

U	(V)	Měřené napětí
U_n	(%)	Chyba voltmetru
ΔU	(V)	Chyba voltmetru
X	(%)	Celková chyba
X'	(-)	Správná měřená hodnota
X_m	(%)	Chyba metody
X_n	(%)	Chyba vah
X_p	(mg)	Naměřená váha
ΔX	(mg)	Chyba dílku vah
$\Delta X'$	(-)	Chyba měření
r^2	(-)	Činitel korelace
x'	(-)	Hodnota získaná měřením
σ	(-)	Střední chyba
θ	(-)	Pravděpodobná chyba
δ	(%)	Relativní chyba

Seznam ilustrací

Obrázek 1- Schéma zapojení [5]	2
Obrázek 2- Zapojená měřicí úloha	3
Obrázek 3- Graf regrese druhého měření [6]	5
Obrázek 4- Schéma Coulombových torzních vah [7]	9
Obrázek 5- Vnější popis částí torzních vah [1]	11
Obrázek 6- Vnitřní popis částí torzních vah	12
Obrázek 7- Měřicí pružina	14
Obrázek 8- Zakápnutí neznámým materiálem na vahadlu vah	20

Seznam tabulek

Tabulka 1- Naměřené hodnoty z prvního měření [6]	4
Tabulka 2- Naměřené hodnoty z druhého měření [6]	4

Úvod

Absolutní metoda měření napětí je laboratorní úloha, pomocí které využíváme torzní váhy. Měříme na nich účinek síly napětí na vahadlo. Jelikož tyto váhy jsou velmi přesné, i když měříme jen hodnotu síly napětí bez proudu dokážeme změřit tuto danou váhu.

Tato metoda by měla být velmi přesná, jelikož měříme tuto hodnotu v základní SI jednotce a poté ji přepočítáváme na napětí. Tím pádem by měla být přesnější než přímé měření pomocí Voltmetru. Akorát tomu tak úplně není, jelikož se při tom to měření vyskytuje chyba, která ovlivňuje tuto měřící metodu.

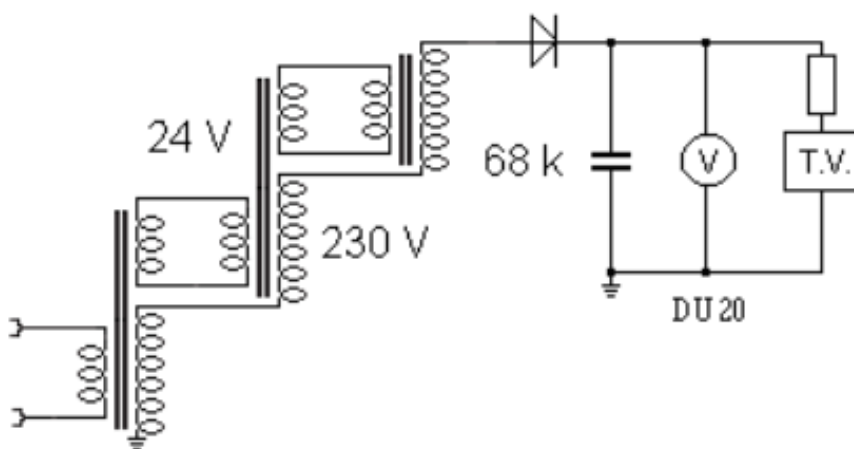
1 Laboratorní úloha Absolutní metody

Absolutní metody měření napětí, stanovují hodnotu napětí měřením některé základní fyzikální veličiny, v našem případě síly. Většina současných přístrojů pro absolutní měření je založena na měření délky a mechanických sil. Lze jimi získat velmi přesné hodnoty, neboť jednotky základních fyzikálních veličin jsou neměnné a mohou být vyjádřeny s požadovanou přesností v libovolném místě a čase. [4] [5]

1.1 Vypracování protokolu z naměřených hodnot

1.1.1 Postup měření

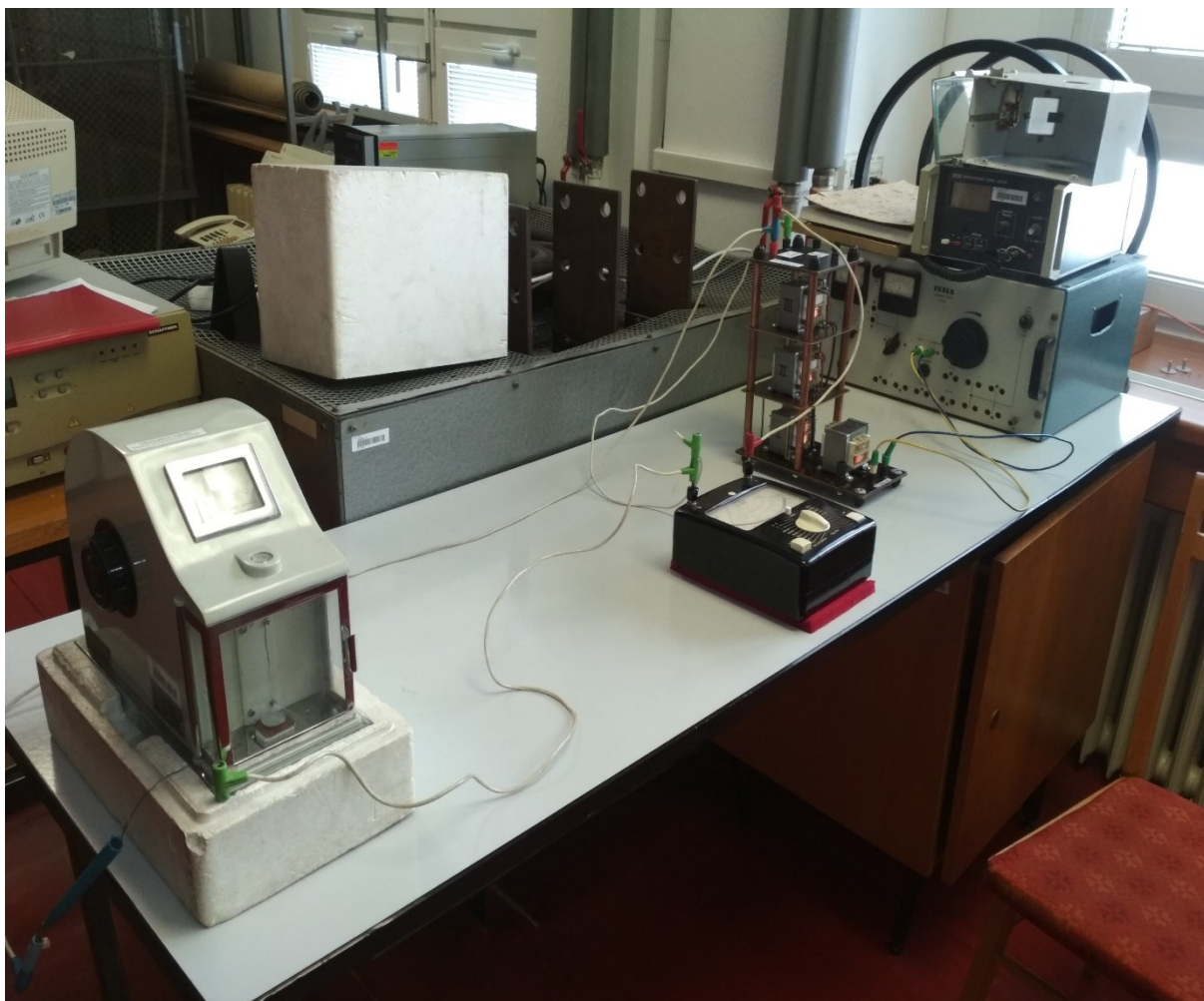
1. Jako zdroje použijte kaskádního zapojení 3 transformátorů (viz schéma) s usměrňovačem.
2. Nastavujte zadané hodnoty napětí od 400 V do 800 V.
3. Pro každé napětí stanovte 5krát sílu potřebnou k odtržení elementů.
4. Naměřené hodnoty váhy v mg a napětí v kV zadejte do tabulky REGRESE a stanovte závislost $m(U)$. [5]



Obrázek 1- Schéma zapojení [5]

1.1.2 Použité přístroje

Voltmetr DU 20 s třídou přesnosti 1 % pro stejnosměrného napětí, rozsahy 300 V a 1 kV
Torzní váhy WT01, rozsah 100 mg, rozlišení 0,2 mg, chyba vážení 0,2 mg [5]



Obrázek 2- Zapojená měřící úloha

1.1.3 Naměřené hodnoty

Atmosférické podmínky dne 18.1.2021

Teplota: 23 °C

Tlak: 985 hPa

Vlhkost: 45 %

První měření bylo měřeno za přítomnosti cvičícího.

Tabulka 1- Naměřené hodnoty z prvního měření [6]

napětí	síla v mg u jednotlivých měření č.:					průměr	regrese
(kV)	1	2	3	4	5	(mg)	(mg)
0,8	36,5	36,3	36	36,3	36,2	36,26	36,10
0,6	20,2	19,7	19,7	20	20	19,92	20,16
0,4	8,8	8,8	8,6	8,8	8,8	8,76	8,78
0,2	1,8	1,7	1,5	1,6	1,5	1,62	1,96
0	0,2	0,1	0,2	0	0,1	0,12	-0,32

$$k = 56,8994 - 0,3199 = b$$

b Ano	1
--------------	---

$$\sigma_k = 0,27468 \quad 0,09245 = \sigma_b \quad \text{výsledný vztah:}$$

$$r^2 = 0,99946 \quad 0,32407 = \sigma$$

$$m = U^2 * 56,9 + -0,32$$

Pro $b = 0$ byly hodnoty: $r^2 = 0,9996$ a $\sigma = 0,3912$, zvoleno bylo $b=1$ z důvodu menší střední chyby.

Druhé měření bylo měřeno 20.3.2021 pouze cvičícím z důvodu pandemie.

Tabulka 2 – Naměřené hodnoty z druhého měření [6]

napětí	síla v mg u jednotlivých měření č.:					průměr	regrese
(kV)	1	2	3	4	5	(mg)	(mg)
0,2	2,2	2	2	2	1,9	2,02	2,82
0,8	38,6	38,4	39	39	38,6	38,72	38,72
0,6	21,4	22,3	21,6	21,3	21,8	21,68	21,97
0,4	10,2	10,9	10,8	12	10	10,78	10,00
0,2	3,5	2,8	3	2,9	3,4	3,12	2,82

$$k = 59,8458 - 0,42224 = b$$

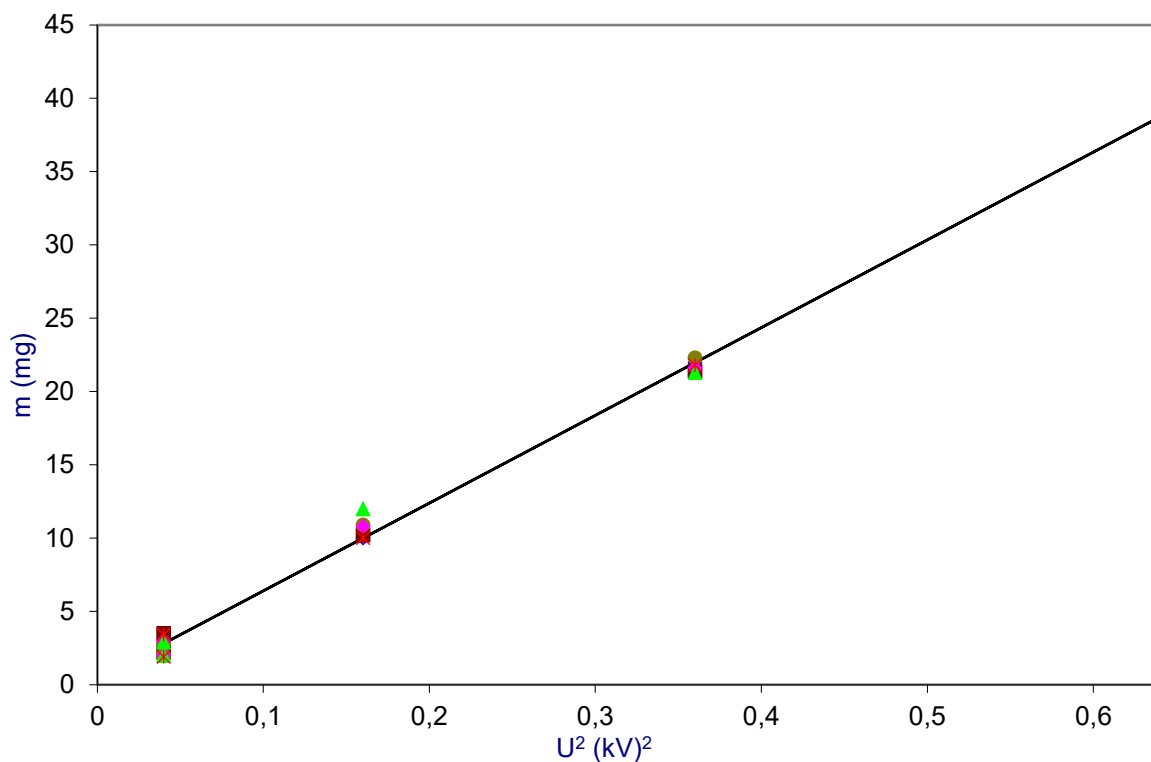
b Ano	1
--------------	---

$$\sigma_k = 0,6033 \quad 0,20334 = \sigma_b \quad \text{výsledný vztah:}$$

$$r^2 = 0,99767 \quad 0,6885 = \sigma$$

$$m = U^2 * 59,8 + 0,42$$

Pro $b = 0$ byly hodnoty: $r^2 = 0,999$ a $\sigma = 0,734$, zvoleno bylo $b=1$ ze stejného důvodu menší střední chyby.



Obrázek 3- Graf regrese druhého měření [6]

Vypracování těchto dvou tabulek i grafu regrese bylo čerpáno z přílohy sylabu k předmětu TVN a to souboru regrese.xls. Proto u obou tabulek je zachován původní stav velikosti a stylu písma. [6]

1.1.4 Výpočet chyby

Jelikož nejpřesněji můžeme vážit napětí při hodnotách, které jsou nejvyšší. Proto u prvního měření počítáme chybu s hodnotou napětí 800 V, která odpovídá v měření regresivní křivce s hodnotou 36,1 mg.

Chyba Voltmetru: U_n je chyba počítána na měřené hodnotě 800 V při relativní chybě voltmetru 1 % na rozsahu 1000 V [5]

$$U_n = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100 = \frac{10}{800} \cdot 100 = 1,25 \text{ (\%)}$$

Chyba vah: X_n je chyba která je dána přesností samotných vah. [5]

$$X_n = \frac{\Delta X}{X_p} \cdot 100 = \frac{0,2}{36,1} \cdot 100 = 0,55 \text{ (\%)}$$

Chyba metody: X_m bude zde uváděna jako pravděpodobná chyba regrese. [5]

$$X_m = \frac{\frac{2}{3} \cdot \sigma}{X_p} \cdot 100 = \frac{\frac{2}{3} \cdot 0,324}{36,1} \cdot 100 = 0,6 (\%)$$

Důvod proč ve výpočtu chyby metody X_m byly dvě třetiny je, že zde počítáme s pravděpodobnou chybou. Pravděpodobná chyba se rovná $2/3$ střední chyby. Význam pravděpodobné chyby je, že stejně velká pravděpodobnost chyby jednoho měření je menší než pravděpodobná chyba. Což znamená, že tato chyba je větší než pravděpodobná chyba. Při velkém počtu měření je polovina skutečných chyb menší, a druhá polovina větší než pravděpodobná chyba. Tím pádem pravděpodobná chyba jednoho měření je dle vzorce. [3]

$$\vartheta = \frac{2}{3} \cdot \sigma_{n-1}$$

Celková chyba vážení: X je dána celkovým součtem obou chyb, jak chyby vah X_n , tak chyby metody X_m . [5]

$$X = X_n + X_m = 0,55 + 0,6 = 1,15 (\%)$$

Jak u prvního měření, můžeme nejpřesněji vážit napětí při hodnotách, které jsou nejvyšší. Byly pro výpočet chyby znovu zvoleny nejvyšší hodnoty a to 800 V, kterým odpovídá regresivní křivka s hodnotou 38,72 mg. [5]

Chyba Voltmetru U_n je v tom to případě stejná jako u prvního měření.

Chyba vah: X_n [5]

$$X_n = \frac{\Delta X}{X_p} \cdot 100 = \frac{0,2}{38,72} \cdot 100 = 0,52 (\%)$$

Chyba metody: X_m [5]

$$X_m = \frac{\frac{2}{3} \cdot \sigma}{X_p} \cdot 100 = \frac{\frac{2}{3} \cdot 0,688}{38,72} \cdot 100 = 1,19 \text{ (\%)}$$

Celková chyba vážení: X [5]

$$X = X_n + X_m = 0,52 + 1,19 = 1,71 \text{ (\%)}$$

1.2 Závěr měření

První měření bylo měřeno trochu jiným postupem. Prvně byla naměřena nulová hodnota, kde se vyvážilo vahadlo na nulovou hodnotu. Poté se dále měřilo od nejvyšší hodnoty po nejnižší a to od 800 V po stupních 200 V dolů a poté se znovu měřila nulová hodnota napětí, kde byla hodně malá kladná výchylka. Z nejvyšší hodnoty měřeného napětí, byla vypočtena chyba voltmetru, která je 1 % na rozsahu 1000 V, takže dle výpočtu na 800 V je chyba 1,25 %. Poté byla vypočtena chyba vah a chyba metody, kde jsme volili nejvyšší hodnotu regresivní křivky a to 36,1 mg, která odpovídá hodnotě napětí 800 V. Chyba vah, kde jsme počítali s chybou vážení 0,2 mg byla na nejvyšší hodnotu 0,55 %. Chyba metody, kde počítáme s pravděpodobnou chybou regrese se rovnala 0,6 %. Aby byla získána celková chyba vážení musela být sečtena hodnota chyby vah a chyby metody. Tudíž celková chyba vážení byla 1,15 %.

U druhého měření byl tak též pozměněn postup měření. Tentokrát bylo měřeno od nejnižší hodnoty po tu nejvyšší, a to po vyvážení vah na nulové hodnotě napětí. Bylo váženo od 200 V po stupních 200 V nahoru až na nejvyšší hodnotu 800 V. Jak byla naměřena nejvyšší hodnota napětí, znovu se kontrolně tentokrát měřilo napětí 200 V, kde podle tabulky naměřených hodnot druhého měření lze vidět, že kladná odchylka chyby je mnohem větší než u prvního měření. A to až v rozmezí 0,8 – 1,5 mg což u prvního měření byla tato odchylka jen v rozmezí 0,1 - 0,2 mg.

Chyba u druhého měření byla počítána stejně jako u prvního měření, a to znovu na nejvyšší hodnotě. Chyba voltmetru je stejná jako u prvního měření a to 1,25 %. Výpočet chyby vah tentokrát 800 V váženého napětí odpovídá nejvyšší hodnotě regresivní křivky 38,72 mg. Chyba vah, která je znovu počítána s chybou vážení 0,2 mg je na nejvyšší hodnotě 0,52 %. Chyba metody je v tomto měření mnohem větší a to 1,19 % z důvodu vyšší hodnoty σ . Tím pádem je celková chyba při součtu obou chyb, jak chyby vah, tak chyby metody vážení je 1,71 %.

Z obou těchto naměřených hodnot lze vidět, že u prvního měření nedošlo k nějak významnému projevení chyby. Tudíž je celková chyba o něco menší než u druhého měření. U druhého měření se tato chyba projevila velmi, a to v kladné odchylce tudíž chyba metody je mnohem větší, jak u prvního měření. Což zvětšilo celkovou chybu vážení o půl procenta. Když tyto hodnoty porovnáme s chybou voltmetru tak u prvního měření je hodnota o trochu lepší než chyba voltmetru. U druhého vychází hodnota celkové chyby vážení hůř jak u chyby voltmetru. Když to vezmeme celkově z porovnání chyby vah a chyby voltmetru tak váhy jsou mnohem přesnější jak voltmetr. Ale chyba metody tu přesnost vážení zhoršuje, tak že kdyby chyba metody vážení byla mnohem nižší nebo nebyla vůbec bylo by vážení mnohem přesnější jak měření voltmetrem.

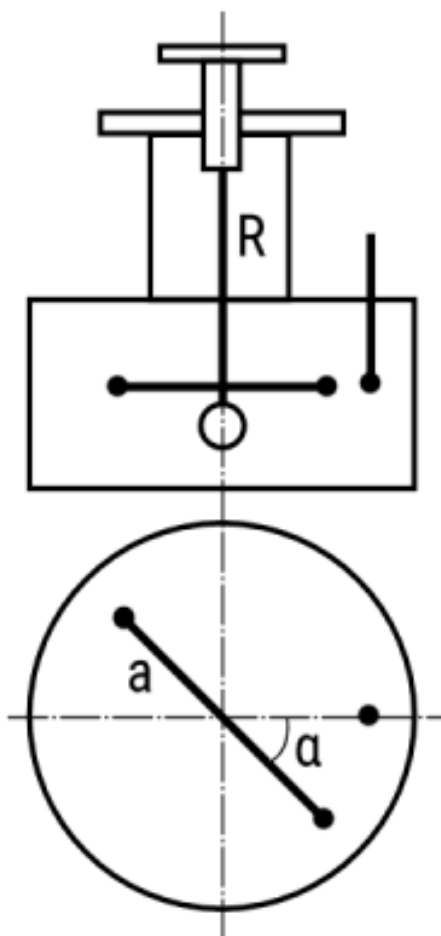
2 Konstrukce torzních vah

V této části se budeme věnovat konstrukci a provedení torzních vah. Dále si projdeme kritéria, které musí být splněny materiálově a pro kontrolu.

2.1 Úvod o torzních váhách

Torzní váhy jsou váhy, které se používají k měření velmi malých sil. Tyto váhy využívají momentu zkrouceného jemného závěsu. Z toho vyplývá že jméno torzní dostali z důvodu využití síly zkrutu proto torzní. Konstrukce torzních vah bude zde řešena hlavně o jednom typu, a to pomocí kterého je měřeno v laboratořích, a to typ WT01, tyto váhy jsou vyráběny převážně v Polsku. [1] [4]

Dole na **Obrázku 4** je schéma Coulombových torzních vah které jsou sestaveny ze skleněné válcové nádoby, ve které je na tenkém pružném vlákně o poloměru R zavěšeny izolační ramínka o délce $2a$. Vlákně je upnuté v otočné hlavici se stupnicí. Na ramínku jsou 2 kovové kuličky. U jedné z nich je další kovová kulička, která je upevněna na tenké kovové tyčce. Úhel vychýlení ramínka je α indikuje se pomocí odrazu světelného paprsku od zrcátka namontovaného na ramínku. [7]



Obrázek 4- Schéma Coulombových torzních vah [7]

2.2 Konstrukce a provedení

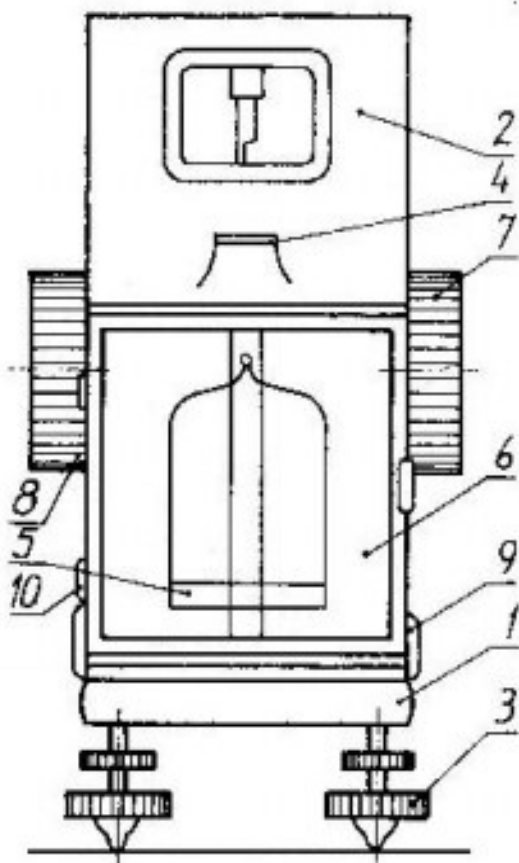
Začneme ramenem páky na kterém, jsou zavěšené nosiče, které jsou určeny na závaží a tyto nosiče musí být ohraničeny noži nebo háčky. Tyto nosiče na závaží můžou být provedeny v několika druzích konstrukce buď jako misky a háčku, kliky nebo kontejneru. [1]

Váhy by také měla mít zařízení určené k pohlcování kmitu páky. Toto zařízení určené na potlačování kmitů páky může být provedeno na dva způsoby funkce, a to buď magnetické nebo vzdušné. Zařízení, které je určeno na tlumení kmitů může být vybaveno regulací, ale musí splňovat jednu důležitou věc, a to že musí být provedena tak aby tlumení probíhalo hladce bez jakéhokoli tření. [1]

U nově vyrobených vah by mělo být zařízení které je určeno k tlumení otáčení nastaveno tak, aby se ukazatel, který je vychýlený z rovnovážné polohy vrátil do původní polohy po třech až pěti oscilacích v době by neměl přesahovat více jak deset sekund. [1]

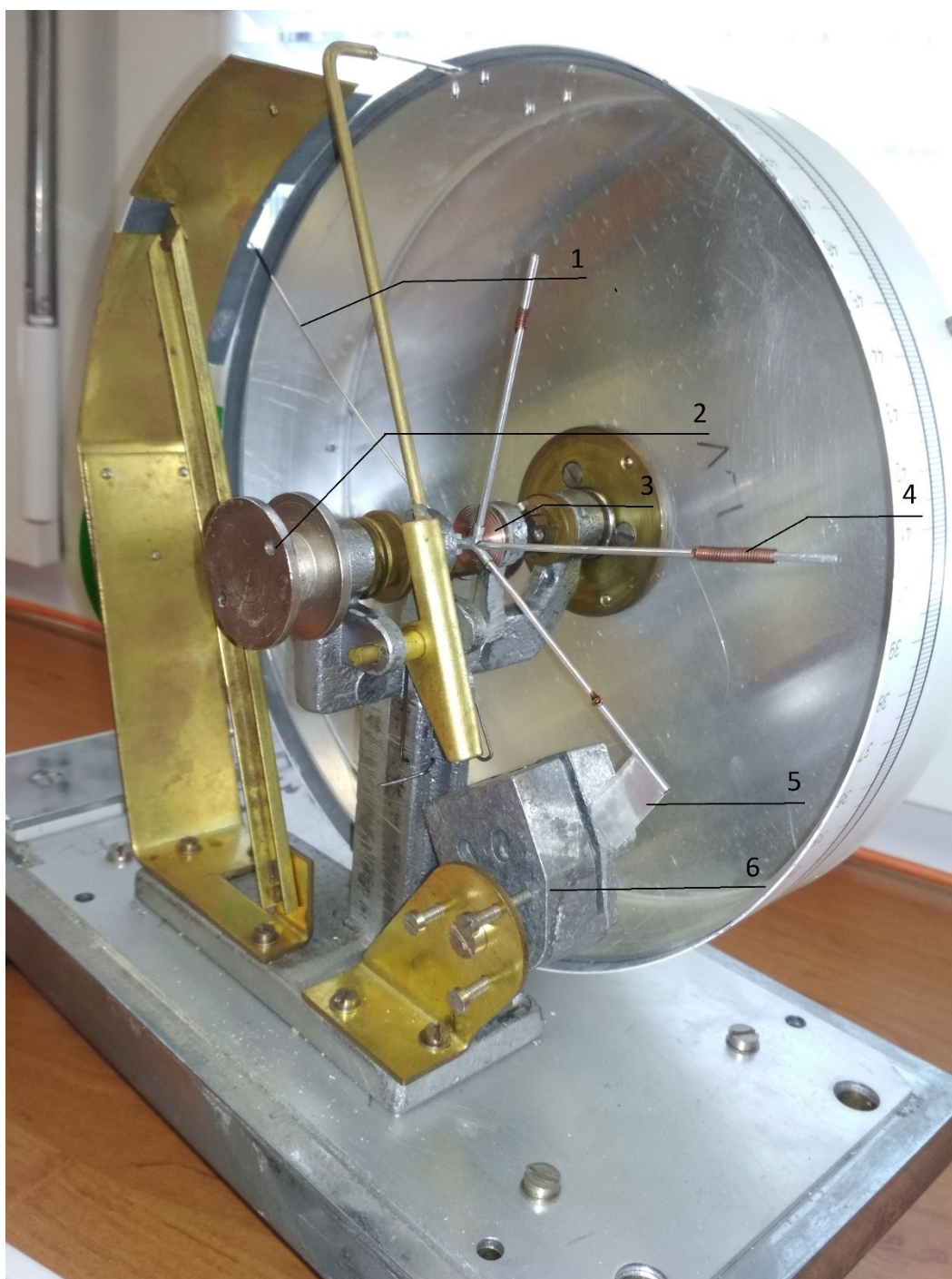
Měřítka by měla být vybavena spínačem který slouží k uzamknutí páky, které může v závislosti na konstrukci vah a jejím maximálním hmotnostním zatížení splňovat jeden ze dvou úkolů, a to sloužit buď k zamykání páky před změnou zatížení nebo může sloužit k zajištění páky pouze pro přepravu nebo dobu jejího nepoužívání. Tento spínač by měl být ovládán z vnějšku krytu a měl by být proveden tak aby jej bylo snadné zapínat a vypínat, aniž by způsoboval rázy nebo kroucení páky. U vah, které jsou vybaveny promítacím zařízením by měl spínač zapnout světlo před zapnutím indikátoru sestávajícího ukazatele a stupnic pro čtení výsledku vážení, indikátoru polohy váhy a indikátoru pro nastavení váhy. [1]

Zařízení určené pro čtení výsledků může být provedeno ve formě ukazatele spojeného s elastickým prvkem a stacionární stupnicí, nebo stupnice spojená s elastickým prvkem a stacionárním ukazatelem. V obou těchto případech může být promítací zařízení použito k promítání obrazu ukazatele nebo mikro dělení na podložku, na kterém bude odpovídajícím způsobem vytvořeno měřítko nebo čtecí řádek. [1]



Obrázek 5- Vnější popis částí torzních vah [1]

(1- podstava váhy, 2- kryt váhy, 3- regulační matice, 4- vodováha, 5- miska (háček), 6- vážicí komora, 7- regulátor na změnu rozsahu u vah s více rozsahy, 8- regulátor na natáčení bubnu s ryskou, 9- tlačítko na vypínání vážicí páky, 10- regulátor na upravování ukazatele na vyrovnaní nulové rysky u vah s více rozsahy) [1]



Obrázek 6- Vnitřní popis částí torzních vah

(1- vahadlo, 2- regulační matice, 3- měřicí pružina, 4- závaží, 5- plíšek proti kmitům, 6- magnety proti kmitům) [1]

U **obrázku 6** byly vyfoceny částečně rozebrané váhy, aby bylo možno zachytit vnitřní části vah, kde bylo vyznačeno 6 důležitých částí, a to pod číslem 1 vahadlo které slouží k vážení. Pod číslem 2 to je regulační matice pomocí které se natáčí buben s ryskou. Číslo 3 je měřicí pružinka a 4 jsou závaží. Pod číslem 5 a 6 jsou dvě části, které pracují spolu. Jsou to části určené k pohlcení

kmitů vahadla, pod číslem 5 je to plíšek a číslem 6 jsou magnety, které působením na plíšek zamezují k působení kmitů na vahadle. [1]

2.3 Materiály částí, které musí být dodrženy

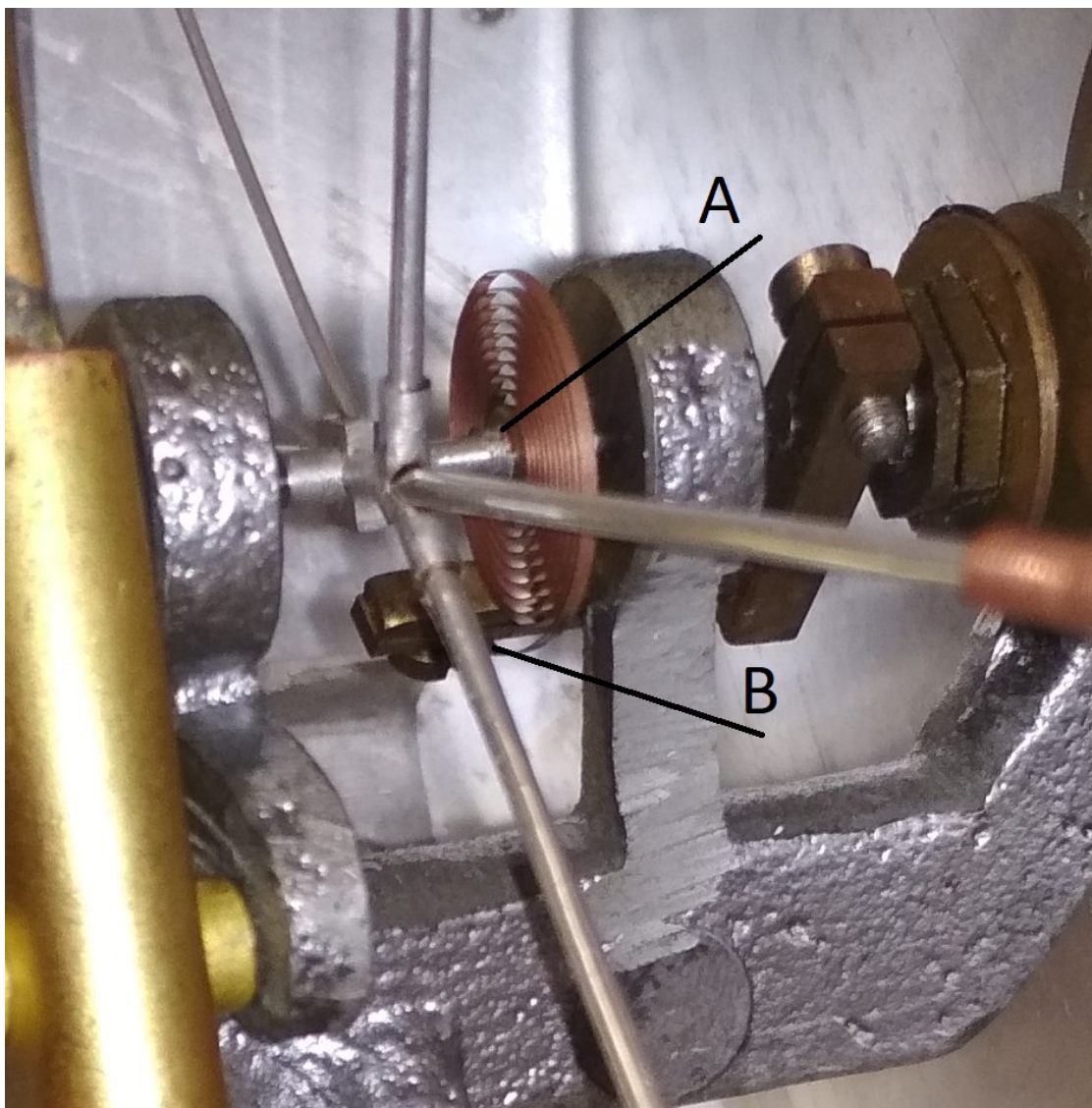
Jednotlivé části váhy musí být vyrobeny s nemagnetických materiálů musí mít dostatečnou pevnost a dobrý odpor vůči korozi, popřípadě musí být vybaveny vrstvou laku proti korozi. Pružina může být vyrobena ve dvou stylech, a to buď ve stylu pásky nebo nitě. Tato pružina musí být vyrobena ze speciálních slitin, které musí mít dostatečnou pevnost a nízký koeficient roztažnosti. Také musí mít dostatečný odpor vůči korozi nebo může být vyrobena z křemíkového vlákna. [1]

Ložiska nápravy by měli být vyrobeny z achátu, korundu, nemagnetické oceli nebo z jiných vhodných materiálů se stejnými vlastnostmi. Těleso vah musí být vyrobeno z nemagnetických kovů nebo také může být vyroben z plastu který neelektrizuje nebo z plastu chráněného proti elektrifikaci. Ocelové vážení je povoleno u vah pouze s maximálním zatížením nad 500mg a výše. [1]

Dělič hmotnosti může být vyroben z kovů, kostí, skla nebo plastu, který má stejné vlastnosti jak tyto materiály. Závaží, které je zabudováno do vah by mělo být vyráběno převážně z mosazi, nového stříbra nebo z oceli která má odpor vůči rzi a je nemagnetická. [1]

2.4 Princip torzních vah

Na **Obrázku 7** je přiblížena měřicí pružina, která je velmi podstatná pro celou funkci vah, jelikož princip torzních vah, jak bylo psáno nahoře závisí na zkrouceného jemného závěsu. Na pružině byli vyznačeny dva důležité body, a to dva konce pružiny, a to vnější a vnitřní. Pod označením A je označen vnitřní konec pružiny, který je spojen s vahadlem. Pod B je zaznačena vnější část pružiny, která je spojena s bubnem, na kterém jsou vyznačeny hodnoty. Princip této pružiny je jednoduchý při vážení se mění uhel závěsu, který otáčí s pružinou a ta na vnějším konci otáčí s bubnem, který ukazuje hodnotu, která je vážená. [1]



Obrázek 7- Měřicí pružina

2.5 Kontrola funkčnosti torzních vah

Při kontrole funkčnosti torzních vah se kontrolují dvě hlavní části, vnější část a konstrukce vah. Poté se kontroluje poslední důležitá část, a to přesnost vážení. Do vnější kontroly spadá hlavně kontrola štítku, zda splňuje veškeré údaje a správné označení. Také se zde kontroluje, zda nejsou vnější části vah nějak poškozeny nebo narušeny. U kontroly konstrukce se hlavně řeší spolehlivost vah a funkčnost jednotlivých částí konstrukce. U kontroly přesnosti se pouze kontroluje, jestli váhy správně měří, zda nevykazují žádnou chybu. Akorát u této kontroly musí být dodrženy určitá kritéria.

2.5.1 Vnější kontrola

První kontrolou je kontrola štítku a označení na štítku, zda splňuje následující kritéria, a to správné označení nebo obchodní značku, rozsah, v kterém váhy měří, sériové číslo vah, daný typový

znak, dobu provedení, kalibrační teplotu a hodnotu gravitačního zrychlení, pro kterou byla daná váha kalibrována. Také se kontroluje, jestli má váha správné označení rozsahů a měrných jednotek.

Důležitou částí vah je taky kontrola, jestli obsahují sadu kontrolních závaží, které jsou určeny ke kontrole vah během měření. Také kontrolujeme povrch krytu vah, zda jejich galvanický povrch je bez poškození a kazů. Nepříjemné je hlavně když se povrchový povlak loupe nebo odlamuje. Kontroluje se, zda je povlak laku bez poškození prasklin. A v poslední řadě se kontroluje skleněná část krytu, jestli je bez poškození a prasklin.[1]

2.5.2 Kontrola konstrukce vah

Při ověřování spolehlivého provozu spínače, který má zablokovat vážení vah se na vážicí miskou umístí závaží. To se musí rovnat hmotnosti, která je maximálním zatížením stupnice, když je páka odblokována. Páka, která je zablokována spínačem by při tomto zatížení měla zůstat nehybná. Spínač by měl fungovat hladce a neměl by způsobovat žádné otřesy nebo zkroucení. U vah, které jsou vybaveny promítacím měřítkem musí být zkontrolováno, že při zapnutí spínače se zapne i světlo při uvolnění páky. Při vypnutí, když se páka zablokuje zase zhasne. [1]

Pro kontrolu tlumičů, kterými je váha vybavena se musí páka odblokovat a při jejím vychýlení se kontroluje, zda se vrátí do rovnovážné polohy po třech až pěti zákmitách, které nesmí trvat déle jak deset sekund. U výkyvů páky kontrolujeme také zda její výkyvy jsou volného chodu bez tření. [1]

Při kontrole měřicí stupnice se kontroluje několik věcí a to, jestli pohybový ukazatel se pohybuje bez zbytečného tření navíc, uvolnění a bočních pohybů. Zda je měřicí stupnice vyrobena v souladu s daným stanovením. Také se řeší, zda je interval stupnice na délku 1 mm, zda se vzdálenost mezi sousedními ryskami neliší a je stejná. Kontroluje se, jestli nejkratší ryska není kratší než vzdálenost mezi nimi samotnými, také nesmí být rysky širší jak jedna třetina jejich délky. Nejsou-li ukazatele nebo měřicí stupnice a ukazatel polohy vyvážen tak, že ukazatel na stupnici překrývá od 0,25 mm do 0,75 mm délky nejkratší rysky na stupnici. [1]

Další částí je, zda ukazatel čtecího řádku je správně proveden tak aby indikátor počítadla a rysky stupnice jsou navzájem rovnoběžné tak aby se dalo vyhnout praktické chybě, která by mohla nastat při špatně provedeném čtecím řádku. Správně by měly být hodnoty dílků na sekundární stupnici tak, aby hodnota odpovídala elementárnímu odčítacímu zařízení. Důležitá je také čitelnost dílku za předpokladu stejné délky rysek a číselným označením a označením jednotkami míry, také zda je ukazatel nebo čtecí řádek posuvný v malém rozsahu, tak aby pokrýl nulovou rysku ukazatele. [1]

Kontrola probíhá také u noh, na kterých stojí váha, a to, zda fungují spolehlivě jelikož jsou to regulační nohy, které jsou vybaveny regulační maticí. Regulační šrouby musí být vyrobeny tak, aby se s nimi zacházelo co nejlehčeji, aby se daly lehce regulovat, a hlavně aby byli spolehlivé. [1]

U vah, které jsou s více rozsahy, které se mění pomocí přepínacího závaží je potřeba se podívat, zda tento mechanismus odpovídá stanoveným podmínkám, jestli je bez závady a funguje spolehlivě. Mechanismus, který slouží na změnu rozsahu tedy na výměnu závaží musí být musí být ovládaný ze vnitřku krytu a musí ukazovat jednotlivé hodnoty uloženého závaží. Při přidávání nebo ubírání závaží nesmí na vahách způsobovat žádné nesrovnalosti. Závaží, které je naloženo musí být vždy na stejné poloze a nesmí se s ní nijak hnout. Přepínací mechanismus by měl být v klidové poloze a měl by být vyroben a označen tak, aby jeho polohy byly dobře viditelně rozpoznatelné. Jestli jsou váhy vybaveny

promítacím zařízením tak se musí u světelného zdroje pozorovat, zda neprodukuje nadměrné teplo uvnitř vah. [1]

2.5.3 Kontrola přesnosti vážení

Při kontrole přesnosti vah se musí dodržet určitá důležitá kritéria. V místnosti, kde bude probíhat kontrola musí být dodrženy určité atmosférické podmínky, musí být teplota 20 °C s rozmezím ± 3 °C a vlhkost 60 % v rozmezí ± 20 %. Když bude probíhat kontrolní měření přesnosti vah nesmí se změnit v místnosti teplota o víc jak 0,5 °C za hodinu. Tak též při měření je potřeba mít váhy položeny na stabilním místě, popřípadě s podložkou, která je odolná vůči vibracím, které by mohli tuto kontrolu znehodnotit. Poslední důležitou podmínkou je že váhy musí být umístěny v místnosti, kde bude probíhat kontrola aspoň 4 hodiny před kontrolou. Tato poslední podmínka musí být dodržena z důvodů, že by mohly atmosférické podmínky, kterými tyto váhy byly přenášeny do dané místnosti narušit kontrolu přesnosti vážení. [1]

3 Hledání možné příčiny

V této části si projdeme základní teorii chyby. Poté si projdeme možné příčiny, které by mohli tvořit chybu při měření a příčiny které byly vyvráceny.

3.1 Úvod do problematiky chyby při měření

Hlavní problematikou této práce je chyba, která vzniká při měření na torzních vahách. Tato chyba se objevuje při netradičním měření absolutních metod měření napětí, a to v podobě náhodné chyby, která není úplně pravidelná. Popsána byla jako chyba, která se při měření objevuje, ale taky někdy ne takže nevzniká vždy. Tato neznámá chyba má tendenci při měření se objevit, ale když se nechají po měření váhy v klidovém režimu nějakou chvíli, takže se na nich neměří. Po uplynutí nějaké doby, když se znovu změří nulová hodnota napětí váhy už nevykazují žádnou chybu.

Při základním poznatku se systematických chyb můžeme vyřadit chybu osobní, protože při tomto měření chybu nemůže tvořit chyba osoby která provádí měření. Nebo přesněji tuto chybu nemůže tvořit osoba která provádí měření, když ho provádí precizně, pokud ovšem osoba, která měří a nedává pozor a nesnaží se měřit přesně tak v tu dobu začne vytvářet chybu, ale to není příčinou naší neznáme chyby.

Tudíž nám zbývají dvě varianty, a to chyba která vzniká při špatně zvolené variantě měření, a to už z důvodu netradičního měření, které se provádí na torzních vahách. Poté je tu druhá varianta, a to chyba na měřicím zařízení, která by mohla být pravděpodobnější. U chyby, která by mohla být tvořena měřicím zařízením je více variant, které by ji mohli tvořit, ale to bude popsáno podrobněji níže.

3.2 Teorie chyby

Jestli že opakujeme měření stejné fyzikální veličiny několikrát za stejných podmínek, dostáváme většinou různé hodnoty, které se o trochu liší v případě našeho měření v první části to bylo převážně v řádu desetin mg. Problém je takový že dané měřené fyzikální veličině přísluší pouze jen jedna správná hodnota. Každá tato odchylka od správné měřené hodnoty je tedy nazývána obecně chybou. Každou tuto chybu měření $\Delta X'$ bereme tedy jako rozdíl mezi správnou měřenou hodnotou X' a hodnotou získanou měřením x' tím pádem platí: [2]

$$\Delta X' = X' - x'$$

Tudíž daná vypočtená chyba $\Delta X'$ může nabývat jak kladných, tak i záporných hodnot. Jestli že nám vyjde chyba měření kladně, tak ji musíme k naměřené hodnotě přičíst poté dostaneme hodnotu správnou. Jestli že nám vyjde chyba záporně v opačném případě ji musíme od naměřené hodnoty odečíst abychom dostali správnou hodnotu. Jestli že používáme první rovnici, a to rozdíl správné měřené hodnoty a hodnoty získané měřením, bavíme se tedy o absolutní chybě měřené veličiny. [2] [3]

Když vyjádříme chybu měření vůči správné měřené hodnotě relativně, dostáváme se k relativní chybě měřené veličiny. Relativní chybou měřené veličiny δ je to vlastně poměr absolutní chyby měření $\Delta X'$ a správné měřené hodnoty X' , proto tedy platí pro relativní chybu tato rovnice: [3]

$$\delta = \frac{\Delta X'}{X'} = \frac{X' - x'}{X'}$$

Relativní chybu také lze vyjádřit druhou rovnicí, a to poměrem naměřené hodnoty a správné měřené hodnoty. [3]

$$\delta = 1 - \frac{x'}{X'}$$

Relativní chyba se většinou udává v procentech. Z obou vzorců pro relativní chybu jde vidět že může tato chyba nabývat jak kladných, tak záporných hodnot. [2] [3]

3.2.1 Dělení chyb

Podle jejich původu můžeme dělit chyby do tří různých skupin, a to na chyby hrubé, chyby systematické a na chyby náhodné. [3]

Chyby hrubé mohou vznikat při nedbalosti nebo nepozornosti při měření s nedokonalými nebo závadnými přístroji. Také může vznikat při použití nevhodné metody měření. Naměřené hodnoty s hrubou chybou jsou převážně velmi odlišné od sebe, a proto bychom při měření neměli dále tyto hodnoty používat nebo zkusit opakovat měření a naměřit nové hodnoty. [3]

Chyba systematická je chyba, která je způsobována pořád pravidelnými a stejnými vlivy, což znamená že naměřené hodnoty jsou soustavně menší nebo větší než správná měřená hodnota. Podle čehož můžeme této chybě systematické určit správné kladné nebo záporné znaménko. Vznik systematické chyby je buď v měřící metodě což znamená zjednodušení na určitých předpokladech, nebo v měřících přístrojích, a to jako například posunutí počátku neboli posunutí nulové hodnoty, anebo způsob odečtu pozorovatele například zaokrouhlování zlomků dílku směr, z kterého je prováděno odečítání jako je špatný uhel pohledu. V mnoha případech je možné tuto systematickou chybu vyloučit různými korekcemi, ale nelze ji vyloučit statickými metodami. [3]

Chyba náhodná tato chyba vzniká zcela náhodně, a to ať působením měřícího přístroje, okolí, anebo pozorovatele. Původ této chyby nemůžeme odhalit. Každou tuto náhodnou chybu můžeme považovat jako působení mnoha velmi malých náhodně vzniklých a ojedinělých nepozorovatelných elementárních chyb. U těchto malých elementárních chyb můžeme čekat, že jejich velikosti a znaménka jsou nepravidelně rozděleny. Takže aby vznikla chyba, která má nějaký význam a jde pozorovat musí

se těchto chyb sejít najednou více. Elementární chyby mohou nabývat jak hodnot kladných, tak záporných, a jejich složení dojde pravděpodobně stejně často k chybám kladným i záporným. Nejčastěji se ale sejdou elementární chyby jak kladné, tak i záporné, díky čehož vznikne malá náhodná chyba. Menší pravděpodobnost je že se sejdou elementární chyby, které převažují u jednoho znaménka, a to buď hlavně kladné chyby nebo záporné. Díky, tohoto vznikne mnohem větší náhodná chyba. Takové případy se vyskytují velmi zřídka, takže počet náhodných chyb, který má velkou odchylku ztelně klesá. [3]

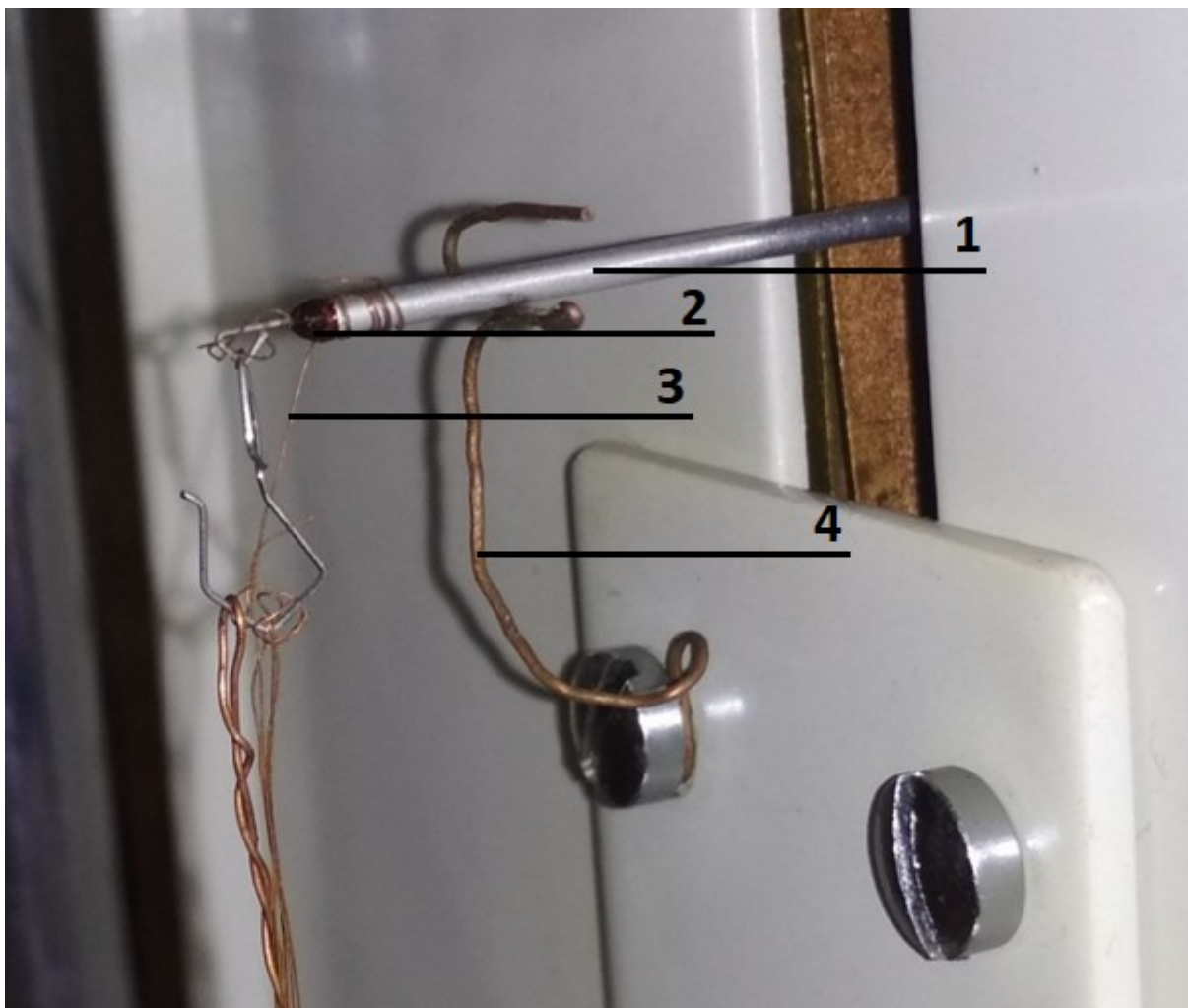
V zjednodušení by se dalo říct o chybě systematické a chybě náhodné toto. A to že chyba systematická nás informuje o správnosti měření a chyba náhodná o přesnosti měření. [3]

3.3 Vyřazené příčiny

První dvě příčiny, které by mohli za chybu byli náhodný zbytkový náboj u vah, anebo magnetické vlivy, které by mohly za onu náhodnou chybu při měření. Ovšem magnetické vlivy mohou být vyloučeny hned, po důkladnějším rozboru a kritérii co musí mít váhy který byl v části 2.3.2 kde jsou napsány kritéria materiálu které musí být u vah dodrženy, a to hlavně vše musí být z nemagnetických materiálu, takže by na váhy neměli mít žádný vliv magnetické vlivy při měření. Druhý nápad, a to zbytkový náboj při měření můžeme také vyloučit, protože hned první věc po zjištění oné náhodné chyby bylo provedeno měření jak na stejnosměrném napětí, tak na střídavém a u obou těch to měření se chyba projevila.

3.4 Popis části vah, kde může vznikat chyba

Při bližším prozkoumání vah a jejich fotografickém zdokumentování se na vahadlu, které je označeno na obrázku pod číslem 1, nebo přesněji na jeho konci našlo zakápnutí neznámou hmotou, které je na obrázku označeno pod číslem 2. Z důvodu tohoto zakápnutí, jelikož na vahadlo je přivedeno uzemnění musí být uzemnění spojeno drátkem přímo na vahadlo, drátek je na obrázku zaznačen pod číslem 3. Vahadlo má také omezený rozptýl měřící plochy drátkem, který je označen pod číslem 4.



Obrázek 8- Zakápnutí neznámým materiálem na vahadlu vah

(1- vahadlo, 2- zakápnutí neznámou hmotou, 3- uzemňovací drátek, 4- drát na omezení pohybu vahadla)

Z důvodu že u prvního měření nebyla zaznamenána pořádně ona náhodná chyba bylo provedeno druhé měření, kde byl změněn postup měření. U prvního měření bylo postupováno jinak, než je základní postup úlohy v laboratorním cvičení, a to bylo měřeno nulové napětí na vyvážení vah a poté bylo měřeno od nejvyšší hodnoty po nejnižší, kde byla znovu kontrolována hodnota 0 V, ale podrobněji popsán postup je v závěru první části. U druhého měření se postupovalo naopak, a to po vyvážení vah na nulovou hodnotu. Pomoci nulové hodnoty napětí se měřilo od nejnižší hodnoty po nejvyšší a poté se kontrolovala tentokrát nejnižší hodnota měření a to 200 V. Podrobný postup byl uveden znovu v závěru první části.

3.5 Možné příčiny náhodné chyby

Návrhu na možnou příčinu vznikl u měření a to, když byla měřena největší hodnota 800 V, a poté byla skokově měřená mnohem nižší hodnota vznikl problém, a to přichycení nebo přilepení vaha-

dla k drátku, který omezuje pohyb vahadla. Toto přichycení těch to dvou částí se poté uvolnilo po lehkém poklepání na váhy nebo vdechnutí vzduchu. Tudíž mezi těmito dvěma částmi vzniká neznámý element, který může tvořit neznámou chybu. Tento element vyžaduje určitou sílu na odtržení, a tak může narušovat měření a měnit naměřené hodnoty.

Další věcí k rozboru je způsob měření, a to zvážení metod měření od nejvyšší hodnoty po nejnížší hodnotu anebo naopak kdyby bylo měření prováděno od nejnížší hodnoty po nejvyšší. I když v prvním měření podle výpočtu vyšlo vážení napětí přesněji než přesnost volt metru. Je tu určitá věc k zamyšlení, a to, když bylo měřeno od nejvyšší hodnoty a to 800 V a poté byla hodnota dále po 200 V snižována postupně dolů až znovu na nulovou hodnotu. Mohla se neznámá chyba, která může vznikat problémem odtržení dvou částí projevovat na nižší hodnoty měřené poté a to 600 V nebo 400 V atd.

V druhém způsobu, který byl měřen od nejnížší hodnoty po nejvyšší kde bylo postupováno od 200 V po 800 V a znovu měřeno 200 V vzniká problém, a to s chybou která je podle výpočtu velká a je větší, než chyba voltmetru tím pádem vážení napětí by v tomto případě se nevyplatilo z důvodu přesnosti. V tomto měření se projevila náhodná chyba velmi výrazně, a to po odměření všech hodnot a znovu změření hodnoty 200 V se projevila chyba významně, a to větší o ± 1 mg na každém pokusu měření této hodnoty.

Možným řešením při měření této úlohy, aby se vyhnulo projevu oné náhodné chybě, by mohla být změna postupu měření. Vhodnější by mohla být varianta měření od nejmenší hodnoty po největší, ale pravděpodobně by postup chtěl ještě úpravu. Měření by probíhalo jako vždy začalo by se naměřením nulové hodnoty napětí, díky které by se vyvážily váhy na nulovou hodnotu. Poté by se měřilo postupně od hodnoty 200 V po hodnotu nejvyšší, a to 800 V po stupních 200 V vždy by se daná hodnota stejně měřila pětkrát, ale finální změna by byla neměření nulové nebo nejnížší hodnoty znovu jak tomu bylo jak u prvního i posledního měření.

Tím to by se mohlo vyhnout chybě kterou by mohlo působit spojení nebo přichycení obou částí jak vahadla, tak drátku určenému omezit pohyb vahadla, jelikož tato příčina pravděpodobně vzniká, když se z nejvyšší hodnoty jde měřit hodnota nejnížší. Důvod proč tato chyba by mohla teoreticky být tvořena tím přichycením je, že ta chyba se projevuje při měření, ale jak bylo zmíněno nahoře po určité době úplně vymizí a nulová hodnota je znovu správná. Tím pádem by to mohlo být tím to spojením obou částí a časem, kdy jsou váhy v klidu tato chyba zanikne.

Stále by nemělo být zapomenuto na první variantu měření, a to od nejvyšší hodnoty po nejnížší, i když tam hrozí, že spojení obou částí jak vahadla, tak drátku omezující jeho pohyb může také vytvářet chybu při měření ostatních nižších hodnot jak 600 V a dále. Stále tím, že se tato hodnota nemění skokově jak v druhém měření, kdy se hodnota změnila o 600 V z hodnoty 800 V na 200 V, tak hodnota, která je pouze o jeden stupeň nižší, a to o pouhých 200 V může vyvolat dostatečnou sílu k odtržení obou částí.

Pokud by to při měření fungovalo tak, že kdyby bylo měřeno od nejvyšší hodnoty a to 800 V a postupně po stupních 200 V by bylo snižováno až k nule a mezi změnou hodnoty z 800 V na 600 V se neprojevila chyba nebo problém s odlepením vahadla od drátku, a tak by se postupovalo dál až na nejnížší nulovou hodnotu. V tu dobu by se nemusela v měření projevit tato chyba a měření by mohlo být velmi přesné.

Když by tedy byla chyba s problémem odlepení vahadla od drátku projevována pouze u velké změny napětí při měření v tu dobu by znamenalo, že první měření, kde se chyba neprojevila vůbec a měření bylo přesnější, jak voltmetrem neboli chyba vah byla menší, než chyba voltmetru pak by mohl být postup tohoto měření jako lepší varianta.

K porovnání těchto dvou návrhů chybí další měření, kde by se znovu mohlo otestovat měření jak od nejvyšší hodnoty po nejnižší, a tak též první návrh, a to měřit od nejnižší hodnoty po nejvyšší a poté už znovu neměřit nejnižší hodnotu.

Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá neznámou chybou, která vzniká při měření laboratorní úlohy Absolutní metody měření napětí v předmětu Techniky vysokého napětí. Při této laboratorní úloze se využívají torzní váhy k měření účinku síly napětí na vahadlu. Při měření této laboratorní úlohy vzniká chyba, která zhoršuje její přesnost a tím pádem metoda, která by měla být přesnější než přímé měření voltmetrem, není přesnější. Úkolem této práce je navrhnout nebo odhalit původ chyby, kde by mohla být, popřípadě navrhnout její řešení.

Při této práci byly provedeny dvě měření jedno proběhlo v zimním semestru, během zkouškového období. V tomto měření se chyba nijak výrazně nezobrazila, a proto vyšla výsledná chyba měření lépe jak chyba voltmetru. Druhé měření, které bylo provedeno už v letním semestru, které prováděl pouze cvičící z důvodu zákazu studentů do škol kvůli pandemii. V tomto měření se už chyba projevila výrazněji, a to že byla o 0,46 % horší jak chyba voltmetru. V druhém měření oproti prvnímu byl pozměněn postup měření, a to u prvního měření bylo měřeno od nejvyšší hodnoty a snižovalo se po nejnižší a u druhého tomu bylo naopak.

V další části byla popsána konstrukce a funkce některých částí vah, popřípadě i popsány kritéria, které musí váhy splňovat při kontrolách. Tato část pomohla k vyvrácení některých variant chyby a zároveň pomohla k pochopení, jak váhy fungují.

V poslední části se rozebírá celkově teorie chyby. Hlavní důležitou částí jsou varianty chyby, které byly vyvráceny a dále návrhy, které by tuto chybu mohly tvořit, popřípadě nápady, jak by se daly vyřešit. Tyto návrhy jsou pouze čistě teoretické z důvodu pandemie nebylo možno už znovu provádět měření a potvrdit, zda je jedna z těch to variant je pravdivá nebo není.

Použitá Literatura

- [1] Dziennik *normalizacji i miar*. In.: Warszawa: Polski komitet normalizacji, miar i jakości, 1991, ročník 91, ISSN 0209-2395.
- [2] NOVÁK, Jiří. *Základy teorie chyb a zpracování fyzikálních měření* [online]. 5.5.2001. Dostupné také z: <http://webfyzika.fsv.cvut.cz/PDF/teoriechyb.pdf>
- [3] *Laboratorní cvičení ze Základů fyziky: Úvod do zpracování měření*. Zlín, 2010. Fakulta Technologická, UTB ve Zlíně.
- [4] MACH, Veleslav. *Sylabus TVN: Skriptum 2*. Ostrava, 2006. VŠB-TUO. Dostupné také z: <https://homel.vsb.cz/~mah30/>
- [5] MACH, Veleslav. *Sylabus TVN: Protokol č.3 Absolutní metody měření*. Ostrava, Protokol k měření. VŠB-TUO. Dostupné také z: <https://homel.vsb.cz/~mah30/>
- [6] MACH, Veleslav. *Sylabus TVN: Početní příloha regrese.xls*. Ostrava, VŠB-TUO. Dostupné také z: <https://homel.vsb.cz/~mah30/>
- [7] BUREŠ, Jiří. Fyzici: Charles-Augustin de Coulomb. *ConVERTER* [online]. 2002. Dostupné také z: <http://www.converter.cz/fyzici/coulomb.htm>